



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Belastningshistoriens indflydelse på fedt lers deformationsegenskaber

Thorsen, Grete; Knudsen, B.

*Published in:*  
NGM 2004 : Proceedings of the 14th Nordic Geotechnical Meeting

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Thorsen, G., & Knudsen, B. (2004). Belastningshistoriens indflydelse på fedt lers deformationsegenskaber. I H. Garin (red.), *NGM 2004 : Proceedings of the 14th Nordic Geotechnical Meeting : Ystad, Sweden, 19-21 May 2004* (3 : 2004 udg., Bind 1, s. 29-38). Swedish Geotechnical Society. SGF Report

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Belastningshistoriens indflydelse på fedt lers deformationsegenskaber

Grete Thorsen

Aalborg Universitet, Aalborg, Danmark, [i5gt@civil.auc.dk](mailto:i5gt@civil.auc.dk)

Børge Knudsen

GEO, Højbjerg, Danmark, [bsk@webspeed.dk](mailto:bsk@webspeed.dk)

*Abstract: Med to prøver af fedt plastisk ler med et lille ( $c_v/w$ )-forhold er udført konsolideringsforsøg. Forsøgene er udført over flere måneder med langtids af- og belastninger. Langtidsafbelastninger forårsager en reduktion i materialets konsolideringsmodul og vanskeliggør bestemmelse af den virkelige forkonsolideringsspænding. På baggrund af de opnåede forsøgsresultater er foretaget vurderinger af belastningshistoriens indflydelse på den tilsyneladende forkonsolideringsspænding, på konsolideringsmodulens variation dels med aflastningsspændingen, dels med antallet af af- og genbelastninger samt en vurdering af materialets svelningsegenskaber. De opnåede resultater er sammenlignet med tidligere publicerede resultater af forsøg med fedt ler samt med resultater af forsøg med fedt plastisk ler med et lille ( $c_v/w$ )-forhold fra firma GEO's arkiv.*

## 1 INDLEDNING

På store dele af Sjælland og Fyn samt i Midt- og Sydjylland træffes aflejringer af fedt tertiært ler som underlag for kvartære aflejringer. Fedt tertiært ler findes desuden flere steder indlejret i moræneaflejringer som flager af anseelig størrelse. Det fede tertiære ler har typisk følgende klassifikationsegenskaber (Knudsen, 1985):

Naturligt vandindhold:  $w \sim 35 - 80 \%$

Flydegrænse:  $w_L \sim 90 - 120 \%$

Plasticitetsindeks:  $I_p \sim 60 - 100 \%$

Aktivitet:  $I_A \sim 1$

Det fede tertiære ler må efter Casagrandes plasticitetsdiagram karakteriseres som højplastisk materiale (Larsen et al., 1988).

Sætninger og hævnings i aflejringer af plastisk ler har gennem årene givet anledning til mange problemer og det plastiske lers deformationsegenskaber har ofte været studeret og flere skønsudtryk er opstillet til brug ved vurdering af det plastiske lers deformationsegenskaber. Den nuværende teknik med automatisk registrering af resultaterne under udførelse af laboratorieforsøg har givet mulighed for en god bestemmelse af tidskurverne under konsolideringsprocessens forløb. Med to prøver af plastisk ler fra en glacial flage ved Rønde på Djursland er udført konsolideringsforsøg.

## 2 PRØVEMATERIALE

Prøverne er optaget med en tyndvægget prøveoptager med diameter 4.2 cm. Prøverne er optaget i to forskellige borer, prøve 3/5 i kote 28.4 og prøve 2/14 i kote 26.7, henholdsvis 2 og 3 m under terræn.

Det naturlige vandindhold,  $w$ , og rumvægten,  $\gamma$ , er bestemt til:

Prøve 3/5:  $w = 62 \%$ ,  $\gamma = 16.3 \text{ kN/m}^3$

Prøve 2/14:  $w = 74 \%$ ,  $\gamma = 15.3 \text{ kN/m}^3$

For begge prøver var mætningsgraden  $S_w \sim 1$ .

Det primære grundvandsspejl i de glaciale aflejringer i området skønnes i kote ca. 10 (Århus Amts potentialekort, 1977). Ud fra dette skøn må den effektive insitu spænding beregnet som kapillarspænding anslås til  $\sigma'_o \leq 200 \text{ kPa}$  for begge prøver.

Med en prøve optaget i kote 28.2 i samme boring som prøve 2/14 er udført bestemmelse af plasticitetsgrænser,  $w_L = 127 \%$ ,  $w_P = 38 \%$ ,  $I_P = 89 \%$ .

En antagelse af ens grundmateriale giver følgende konsistensindeks:

Prøve 3/5:  $I_C = (127-62)/(127-38) = 0.73$

Prøve 2/14:  $I_C = (127-74)/(127-38) = 0.6$

med et formodet indhold af  $90\% < 2\mu\text{m}$ , en aktivitet på  $I_A = I_P / \% \text{ ler} = 89/90 \sim 1$

Under borearbejdet er udført vingeforsøg. Vingestyrken er bestemt til henholdsvis ca. 160 kPa ved prøve 3/5 og ca. 120 kPa ved prøve 2/14.

## 3 UDFØRELSE AF KONSOLIDERINGSFORSØG

Konsolideringsforsøgene er udført i det danske konsolideringsapparat, der har flydende ring (Moust Jacobsen, 1967). Prøverne havde en højde på 2 cm og et areal på  $10 \text{ cm}^2$ . Registreringen af deformationerne under forsøgene har været automatisk og kontinuert med transducere, der havde en målenøjagtighed på  $10^{-3} \text{ mm}$ . Forsøgene er udført med trinvis belastning. Prøverne er i starten af forsøgene belastet i meget små trin for bestemmelse af svelletrykket.

## 4 BESTEMMELSE AF SVELLETRYK OG TØJNING SINDEKS

For de udførte konsolideringsforsøg med prøve 3/5 og prøve 2/14 er på figur 1 optegnet arbejdskurver, der angiver sammenhæng mellem konsolideringstøjningen,  $\epsilon_c$ , og logaritmen til den effektive spænding,  $\log \sigma'$ . Svulletrykket er for begge prøver bestemt til ca. 50 kPa.

Fra et vist spændingsniveau er i afbildning  $\epsilon_c - \log \sigma'$  opnået retlinede arbejdskurver med tøjningsindeks,  $Q = d\epsilon_c / d \log \sigma'$ , på henholdsvis  $Q \sim 19 \%$  og  $Q \sim 20 \%$ .

## 5 BESTEMMELSE AF KRYBNINGSTØJNING SINDEKS OG KONSOLIDERINGSKOEFFICIENT.

For hvert belastningstrin er bestemt krybningstøjningsindeks,  $\varepsilon_s$ , og konsolideringskoefficient,  $c_{k10}$ . Variation af  $\varepsilon_s$  med den effektive spænding er vist på figur 2. Den maksimale værdi,  $Q_s$ , er  $Q_s = 0.8 \%$  og  $Q_s = 0.75 \%$  for henholdsvis prøve 3/5 og Prøve 2/14, dvs  $\alpha = Q_s/Q = 0.04$ . Konsolideringskoefficienten i normalkonsolideret tilstand er for begge prøver fundet at variere fra  $c_{k10} = 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$  til  $c_{k10} = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$  ved stigende spændinger.

## 6 BESTEMMELSE AF FORKONSOLIDERINGSSPÆNDING

### 6.1 Casagrandes metode anvendt på en tilpasset Terzaghi-kurve.

Tilpasses Terzaghi-kurver  $\varepsilon_c = Q \times \log(1 + (\sigma'/\sigma'_\kappa))$  (Jacobsen 1992) med henholdsvis  $Q = 19 \%$  og  $20 \%$  til de fundne arbejdskurver fås  $\sigma'_\kappa = 250 \text{ kPa}$  og  $\sigma'_\kappa = 190 \text{ kPa}$ .

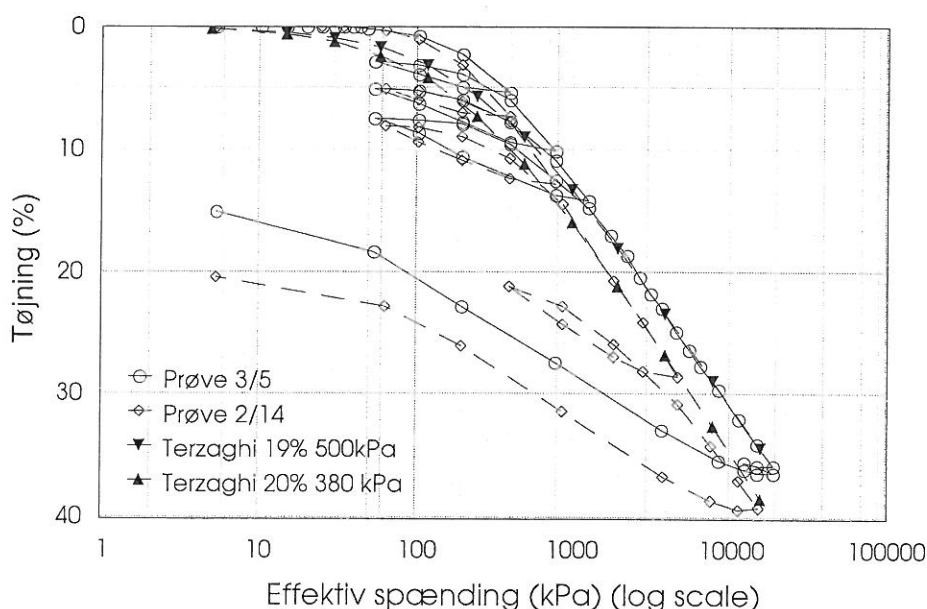
Benyttes Casagrandes metode til bestemmelse af  $\sigma'_{pc}$  fås følgende:

Punktet med mindst krumningsradius findes ved  $\sigma' = 0.62 \times \sigma'_\kappa$ , svarende til  $\varepsilon = Q \times \log 1.62 = 0.21 \times Q$ . Tangenten til kurven i dette punkt har hældningen  $0.38 \times Q$ . Ved en vinkel mellem den vandrette linie og tangenten på  $30^\circ$ , er hældningen af vinkelhalveringslinien  $0.18 \times Q$  og skæringspunktet mellem vinkelhalveringslinien og asymptoten  $\varepsilon = Q \times \log(\sigma'/\sigma'_\kappa)$  giver  $\sigma'_{pc} \sim 2 \times \sigma'_\kappa$ .

For de tilpassede Terzaghi-kurver, der er vist på figur 1 fås:

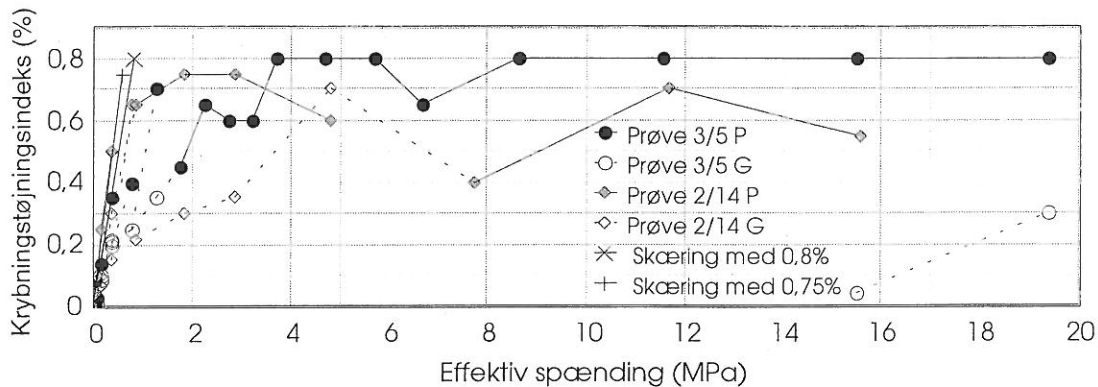
For prøve 3/5:  $\sigma'_\kappa = 250 \text{ kPa}$ , som svarer til  $\sigma'_{pc} = 500 \text{ kPa}$ .

For prøve 2/14:  $\sigma'_\kappa = 190 \text{ kPa}$ , som svarer til  $\sigma'_{pc} = 380 \text{ kPa}$ .



Figur 1 Arbejdskurver for prøve 3/5 og prøve 2/14, og tilpassede Terzaghi-kurver.

## 6.2 Knæk i $\varepsilon_s - \sigma'$ kurven, hvor $\varepsilon_s$ når den maksimale værdi, $Q_s$



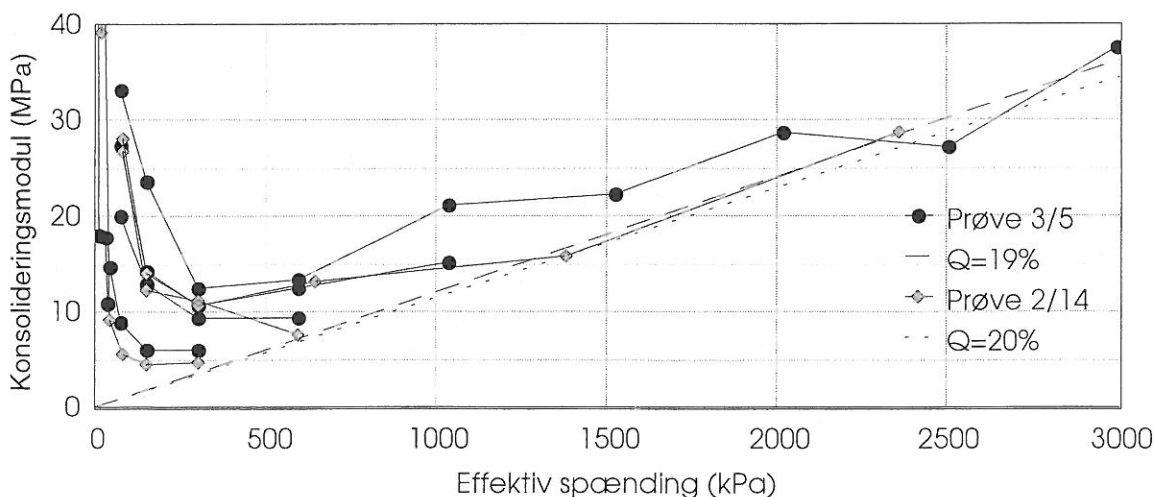
Figur 2 Krybningstøjningsindeks,  $\varepsilon_s$ , som funktion af den effektive spænding.

På figur 2 er optegnet variationen af krybningstøjningsindeks med den effektive spænding, dels ved 1. gangs belastning (P) dels ved genbelastning (G). Akai (Akai, 1960) fandt, at krybningstøjningsindekset,  $\varepsilon_s$ , vokser proportionalt med den effektive spænding,  $\sigma'$ , når  $\sigma' < \sigma_{pc}'$ , og med  $\log \sigma'$  når  $\sigma' > \sigma_{pc}'$ . En række konsolideringsforsøg med danske lerer viser  $\varepsilon_s$  konstant eller svagt faldende når  $\sigma' > \sigma_{pc}'$ . På figur 2 er indtegnet rette linier gennem de fundne værdier for førstegangsbetastning på de små belastningstrin fra 0.0 til skæring med  $Q_s = 0.8\%$ , og  $Q_s = 0.75\%$ . Bestemmelsen af skæringspunktet, som angiver  $\sigma_{pc}'$ , er noget usikker, men findes for prøve 5/3 ved  $\sigma_{pc}' \sim 800$  kPa og for prøve 2/14 ved  $\sigma_{pc}' \sim 600$  kPa.

## 6.3 Knæk eller spring i $K - \sigma'_{\text{middel}}$ kurve

For hvert belastningstrin er bestemt sekantværdien  $K = \Delta\sigma'/\Delta\varepsilon$ , en værdi, der stort set svarer til tangenthældning ved belastningstrinnets middelspænding.

Figur 3 viser sammenhæng mellem de bestemte  $K$ -værdier og middelspændingen for de lave belastningstrin samt rette linier for henholdsvis  $Q = 19\%$  og  $Q = 20\%$ .



Figur 3 Konsolideringsmodul som funktion af den effektive spænding.



Forlænges den vandrette linie for K på 1. belastningsgren til skæring med de rette linier (Christensen & Janbu, 1992) synes det rimeligt at antage følgende værdier for forbelastningsspændingen:

Prøve 3/5:  $Q = 19 \%$   $K = 6.2 \text{ MPa}$   $\sigma_{pc}' = 500 \text{ kPa}$

Prøve 2/14:  $Q = 20 \%$   $K = 4.7 \text{ MPa}$   $\sigma_{pc}' = 380 \text{ kPa}$

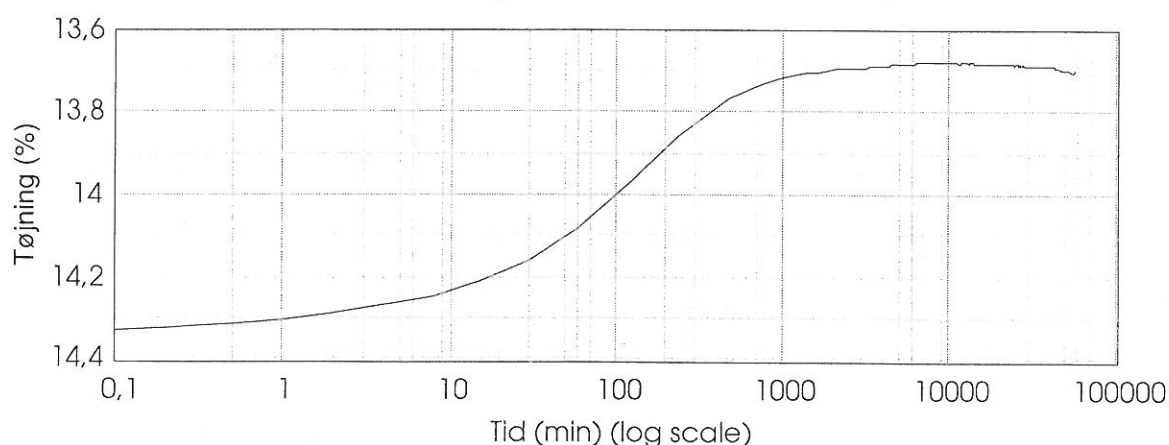
#### 6.4 Bestemmelse af forkonsolideringsspenningen. Sammenfatning

*Tabel 1 Forkonsolideringsspenning*

Metode:	Casagrande/Terzaghi	Akai	Christensen & Janbu
Prøve 3/5	500 kPa	800 kPa	500 kPa
Prøve 2/14	380 kPa	600 kPa	380 kPa

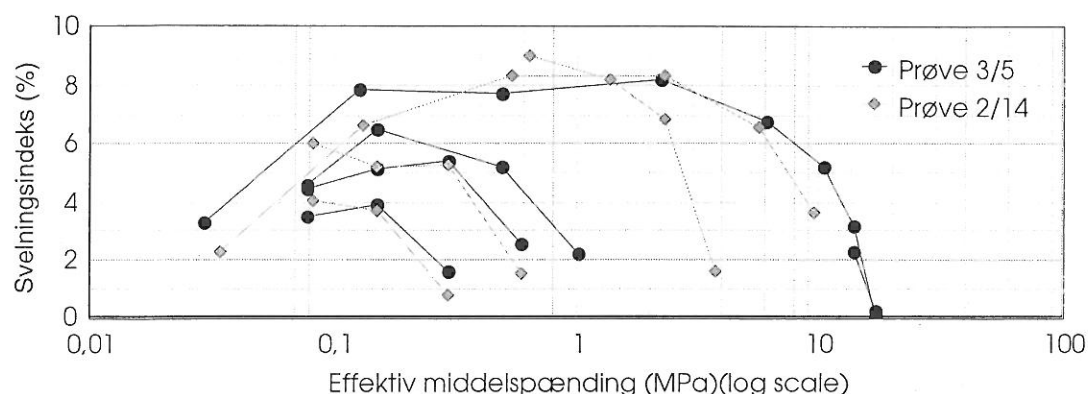
De fundne værdier fremgår af tabel 1. For at finde den bedste værdi for  $\sigma_{pc}'$  bør konsolideringsforsøg udføres uden af- og genbelastningsgrene. Ved flere af- og genbelastningsgrene ændres materialet. Af denne grund skønnes den største usikkerhed i de aktuelle bestemmelser at være ved Akai's metode. De fundne værdier for  $\sigma_{pc}'$  tyder på, at det fede ler har haft mulighed for at svelle så meget, at det har glemte en stor del af den forbelastning, det tidligere har været udsat for.

Når den fede ler aflastes starter en svelleproces. Lermineraleerne suger vand til sig, poretallet forøges indtil en tilpasning til den nye belastningssituation er opnået. Ved langtidsaflastning opnås en ligevægtstilstand inden krybning igen indtræder. I de aktuelle forsøg har aflastningstrinnene, bortset fra de allersidste, haft en sådan længde, at tøjningerne var konstante over et antal timer. Én aflastningskurve har lige nået et vendepunkt efter ca. 60 000 min ~ 42 døgn. Tidskurven fremgår af figur 4. Drænvejen for prøven er ca. 2 cm. Antager vi en drænvej på ca. 2 m for den aktuelle løse flage af plastisk ler bliver tidsforløbet  $100 \times 100 \times 42 \text{ døgn} \sim 1200 \text{ år}$ . Det må antages, at de fede lerer, der i begrænset tykkelse findes indlejret i mere permeable lag fra istiden, har haft mulighed for fuld aflastning til det nuværende insitu tryk og derefter er deformeret ved fortsat krybning.



Figur 4 Prøve 3/5. Tidskurve ved aflastning 1.39 – 0.89 MPa

## 7 BESTEMMELSE AF SVELNINGSINDEKS



Figur 5 Svelningsindeks  $Q_a$  som funktion af effektiv middelspænding.

Svelningsindeks er defineret som  $Q_a = \text{konsolideringstøjning pr. dekade ved aflastning}$ .  $Q_a = d\varepsilon_c/d(\log \sigma')$  er beregnet for hvert aflastningstrin. De fundne værdier for  $Q_a$  er på figur 5 afsat som funktion af aflastningstrinnets middelspænding. Svelningsindekset varierer med aflastningsspændingen og er 8 % ved små spændinger. Ved det allersidste aflastningstrin ved hver prøve er ikke opnået fuld aflastning.

## 8 BESTEMMELSE AF KONSOLIDERINGSMODULER

I tabel 2 er angivet de fundne konsolideringsmoduler ved gentagne belastninger på samme belastningstrin fra samme aflastningsspænding. Tabel 3 viser konsolideringsmoduler ved 1. og 2. gangs belastning ved belastninger over den fundne  $\sigma_{pc}'$ .

Tabel 2 Konsolideringsmoduler ved belastning fra 202 til 398 kPa.

202 – 398 kPa	Prøve 3/5	Faktor	Prøve 2/14	Faktor
1. belastning	K = 6189 kPa	1	K = 4786 kPa	1
2. belastning	K = 9433 kPa	1.52	K = 11212 kPa	2.34
3. belastning	K = 10781 kPa	1.74	K = 10722 kPa	2.24
4. belastning	K = 12497 kPa	2.02		

Tabel 3 Konsolideringsmoduler ved 1. og 2. gangs belastning over  $\sigma_{pc}'$

Prøve 3/5	Belastningstrin	1. belastning	2. belastning	Faktor
	15506 - 19430 kPa	K = 230830 kPa	K = 568711 kPa	2.46
Prøve 2/14	Belastningstrin	1. belastning	2. belastning	Faktor
	398 – 888 kPa	K = 7771 kPa	K = 13257 kPa	1.71
	888 – 1869 kPa	K = 15823 kPa	K = 31144 kPa	1.97
	1869 – 2850 kPa	K = 28854 kPa	K = 45629 kPa	1.58
	2850 – 4812 kPa	K = 43601 kPa	K = 71347 kPa	1.66

Som det ses er det fundet, at konsolideringsmodulen ved genbelastning stiger til 1.5 á 2.5 gange konsolideringsmodulen ved førstegangsbelastningen.

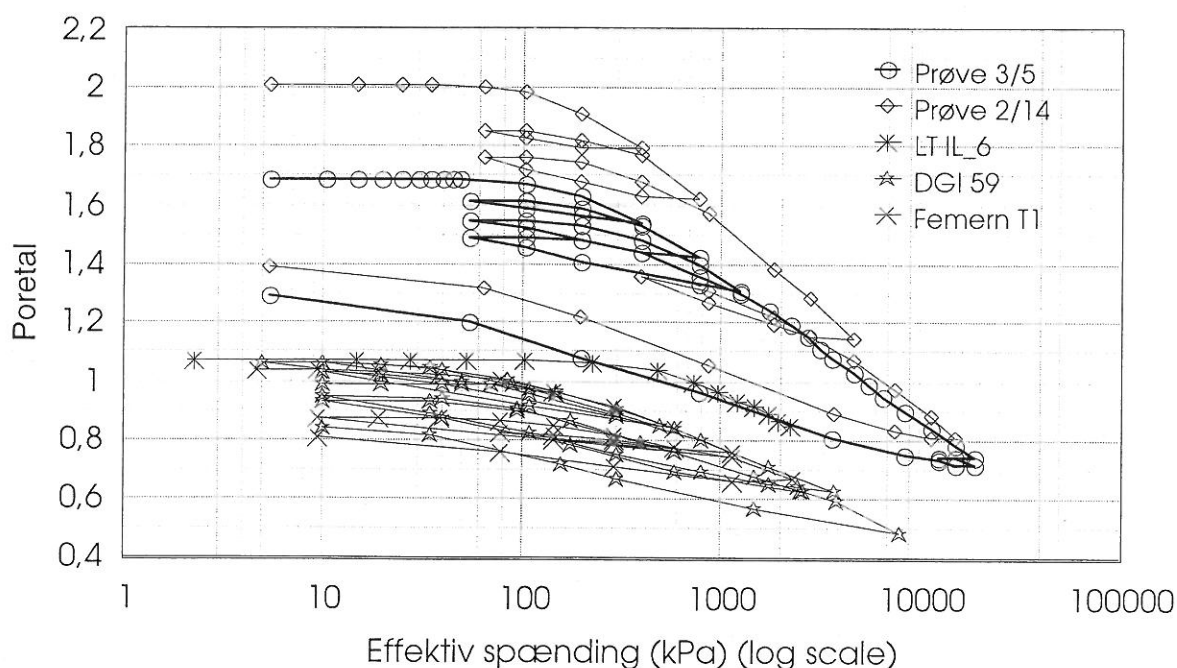
## 9 SAMMENLIGNING MED TIDLIGERE FORSØGSRESULTATER

På figur 6 er optegnet arbejdskurver, der viser poretal,  $e$ , som funktion af den effektive spænding,  $\sigma'$ , dels for de to aktuelle konsolideringsforsøg med prøve 3/5 og prøve 2/14, dels for publicerede resultater af konsolideringsforsøg med følgende prøver:

- IL\_6 Eocænt plastisk ler,  $w = 31.2 \%$ ,  $I_p = w_L - w_P = 285 - 100 = 184 \%$   
 $S_w = 0.8 \%$ , (Thøgersen, 2001)
- DGI 59 Oligocænt septarieler,  $w = 36 \%$ ,  $I_p = w_L - w_P = 78 - 20 = 58 \%$   
 (Christensen & Hansen, 1959)
- Femern T1 Eocænt Terras ler,  $w = 37.4 \%$ ,  $I_p = w_L - w_P = 83 - 34 = 48 \%$   
 $S_w = 1 \%$ , (Furbo, 1993)

Prøverne fra de publicerede forsøgsresultater har alle vandindhold,  $w < 50 \%$  og poretal,  $e \sim 1$ . Det har ikke været muligt at finde publicerede resultater af forsøg med prøver med så store vandindhold og poretal som prøve 3/5 og 2/14.

Skønsformler til vurdering af konsolideringsmoduler ud fra vingestyrker og vandindhold  $K = 4000 \times (c_v / w)$  kPa (DS415:84) eller ud fra aflastningsspænding,  $K = 4000 + 150 \times \sigma'_a$  (Knudsen, 1985 og 1987) er i alt væsentligt baseret på erfaringer med ler med poretal,  $e \leq 1$ , vandindhold,  $w < 50 \%$  og vingestyrker  $c_v \geq 100$  á 200 kPa. Det samme gælder grundlaget for at vurdere en omtrentlig  $\sigma'_{pc}$  ud fra 4 á 5 gange vingestyrken (Thorsen et al. 2001). De kan derfor ikke umiddelbart bruges for materiale som det aktuelle.



Figur 6 Arbejdskurver for konsolideringsforsøg i  $e - \log \sigma'$  afbildning.



I GEO's arkiver er fundet resultater af konsolideringsforsøg med 5 prøver fra Randers fra løse flager af plastisk ler med meget høje vandindhold og plasticitetsindeks. Af tabel 4 fremgår dataene for de fem prøver sammen med resultater fra de to prøver fra Rønne.

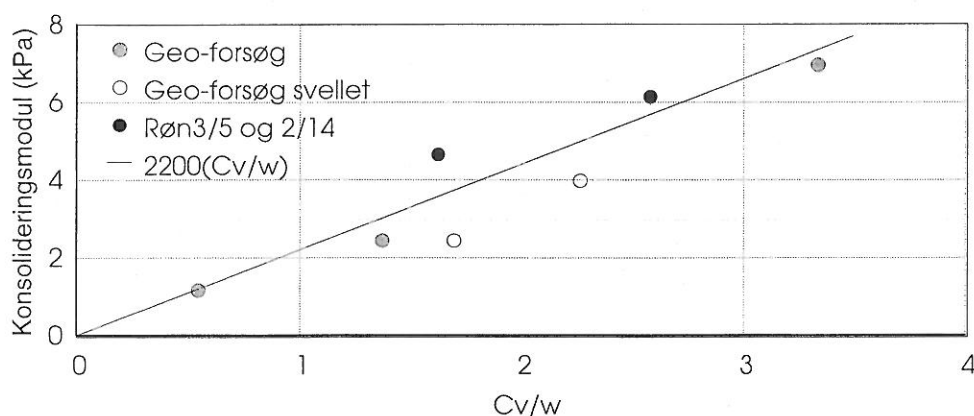
*Tabel 4 Data for løs flage af plastisk ler fra Randers og Rønne.*

Prøve no	w (%)	e	I <sub>P</sub> (%)	$\sigma_{pc}'$ (kPa)	K (kPa)	$c_v$ (kPa)	$c_v / w$
Geo 83	92	2.6	181	120	1200	50	0.5
Geo 89	53	1.5	171	240	2500	80	1.7
Geo 104	60	1.9		650	7000	200	3.3
Geo 137	53	1.5	113	350	4000	120	2.3
Geo 144	73	2.1	162	260	2500	100	1.4
Røn 3/5	62	1.7		500	6200	160	2.6
Røn 2/14	74	2.0	89	380	4700	120	1.6

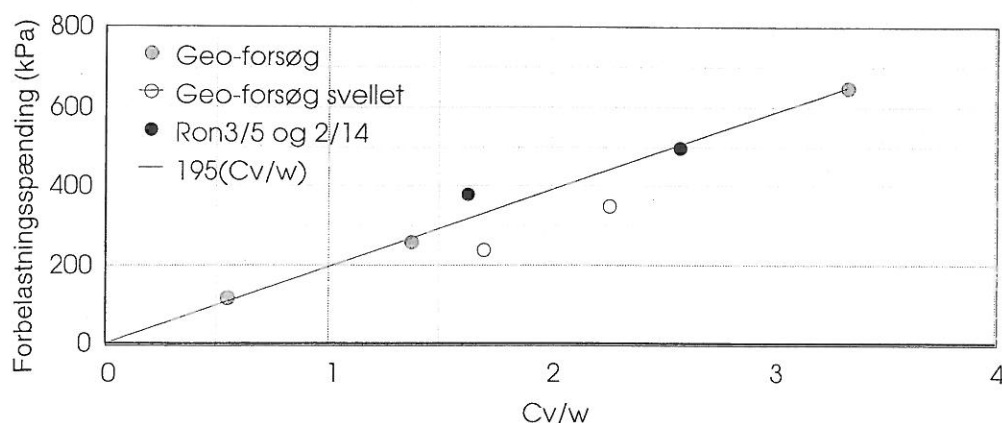
På figur 7 er de fundne konsolideringsmoduler fra 1. belastningsgren afsat som funktion af  $c_v / w$ , hvor  $c_v$  er i kPa og  $w$  i %. Prøverne Geo 89 og 137 har svulmet ved forsøgsstart, hvorfor de fundne værdier for  $K$  måske er for lave. På figuren er indlagt en linie for  $K = 2200 \times (c_v / w)$  kPa, som må anses for en rimelig skønsværdi for de plastiske lerer med  $(c_v / w) < 4$ .

For de meget fede plastiske lerer, hvor mætningsgraden er meget nær 1 kan der ikke være sket svulning, da der ikke har været mulighed for at suge vand. In situ spændingen,  $\sigma_0'$ , må være bibeholdt som negativt poretryk. Det må derfor være rimeligt at sammenholde de målte vingestyrker og begyndelsesvandindhold med konsolideringsmodulen på 1. belastningsgren.

På figur 8 er de fundne værdier for  $\sigma_{pc}'$  på tilsvarende måde afsat som funktion af  $c_v / w$ . På figuren er indlagt en linie for  $\sigma_{pc}' = 195 \times (c_v / w)$  kPa, som må anses for en rimelig skønsværdi for plastiske lerer med  $(c_v / w) < 4$ .



*Figur 7 Konsolideringsmodul som funktion af  $c_v / w$ .*



Figur 8 Forkonsolideringsspænding som funktion af  $c_v/w$ .

## 10 KONKLUSION

De udførte undersøgelser af deformationsegenskaber af løse flager af plastisk ler med vandindhold  $w > 50\%$  synes at vise, at det fede ler har haft mulighed for fuld aflastning til det nuværende in situ tryk. Leret har glemt sin tidligere forkonsolidering. Den konstaterede forkonsolidering skyldes krybning og gentagne af- og belastninger dels gennem den geologiske periode og dels på grund af sæsonvariationer. Konsolideringsmodulen synes ikke, som fundet ved fastere lerer, at afhænge udelukkende af aflastningsspændingen (Knudsen, 1985 og 1987), men stiger ved gentagne belastninger fra samme aflastningsspænding.

Tidligere opstillede skønsformler for forbelastningsspænding og konsolideringsmodul for uorganisk ler og plastisk ler er baseret på erfaringer og forsøgsresultater med lerer med vandindhold  $w < 50\%$  og vingestyrke,  $c_v > 100$  á  $200$  kPa. Det har ikke været muligt at finde publicerede resultater fra forsøg med danske lerer med så store poretal og vandindhold som for de aktuelle prøver fra Rønde.

I GEO's arkiv er fundet resultater af fem konsolideringsforsøg med fedt plastisk ler med  $w > 50\%$  og  $c_v < 200$  kPa. Ved at sammenholde resultaterne af disse forsøg med de to aktuelle forsøg er fundet følgende udtryk til vurdering af konsolideringsmodul ved 1. belastningstrin,  $K = 2200 \times (c_v/w)$  kPa og forkonsolideringsspænding,  $\sigma_{pc}' = 195 \times (c_v/w)$  kPa.

## 11 REFERENCER

- Akai, K. 1960. Die Structurellen Eigenshaften von Schluff. *Mitteilungen Heftngen Heft 22, Die Technische Hochschule, Aachen.*
- Christensen, N. H. & Hansen, B. 1959. Shear Strength Properties of Skive Septarien Clay. *Geoteknisk Institut, bulletin no. 7.*

- Christensen, S. & Janbu, N. 1992. Ødometerforsøg – et primærkrav i praktisk geoteknik. *Proc. NGM-92, Aalborg*. Dansk Geoteknisk Forening, Bulletin 9, vol. 2, pp. 461-466. ISBN 87-983058-7-5
- DS415:84 *Dansk Ingeniørforenings norm for fundering*. 1984. ISBN 87-571-0765-3
- Furbo, K. 1985. *Geologi og Geoteknik i fedt tertiært ler*. Ph.D.-thesis. Institutet for Geologi og Geoteknik. DTU. Lyngby.
- Jacobsen, H. Moust, 1967. *Morænelers geotekniske Egenskaber. Bind 2. Apparater og målemetoder*. Ph.D.-thesis. Genoptrykt 1994. Aalborg Universitet. ISBN 87-88787-12-5
- Jacobsen, H. Moust, 1992. Bestemmelse af forbelastningstryk i laboratoriet. *Proc. NGM-92, Aalborg*. Dansk Geoteknisk Forening, Bulletin 9, vol. 2, pp. 455-460. ISBN 87-983058-7-5
- Knudsen, B. 1985. Problems concerning clays of very high plasticity in Denmark. *Proc. XI ICSMFE, San Francisco, 9/C/11*, pp. 2427-2429.
- Knudsen, B. 1987. Nogle geotekniske egenskaber for udvalgte danske jordarter. *Kompendium. Danske Jordarter, forekomst og egenskaber, kap. 12*. Aalborg Universitetscenter efteruddannelse, september 1987.
- Larsen, G., Frederiksen, J., Villumsen, A., Fredericia, J., Graversen, P., Foged, N., Knudsen, B. & Baumann, J. 1988. *Vejledning i Ingeniørgeologisk Prøvebeskrivelse. Dgf-bulletin 1*. ISBN NO 87-9830-58-2-4.
- Thorsen, G., Knudsen, B., Sandgaard Kristensen, P. & Du-Thinh, K. 2001. *Dgf-bulletin 15: Laboratoriehåndbogen, kap. 5. Konsolideringsforsøg*, pp.55-68. ISBN NO 87-89833-12-0.
- Thøgersen, L. 2001. *Effects of Experimental Techniques and Osmotic Pressure on the Measured Behaviour of Expansive Clay*. Ph.D. Thesis. Soil Mechanics Laboratory, Aalborg Universitet. ISSN 1398-6465 R 2016
- Århus Amt Potentialekort, 1977